ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201812.00333v1

肉用绵羊常用精饲料的瘤胃降解特性与瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率的相关分析

富丽霞[1,2]　马　涛[2]　刁其玉[2]　成述儒[1*]　孙卓琳[2]　李　创[2]

（1.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070；2.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点试验室，北京 100081）

摘　要：本研究探讨了 10 种肉用绵羊常用精饲料的瘤胃降解特性与瘤胃非降解蛋白质（RUDP）体外小肠消化率的相关关系，旨在为估测肉用绵羊可代谢蛋白质（MP）提供依据。选用 14 月龄、平均体重为（49.27±3.12） kg 的安装有永久性瘤胃瘘管的杜寒杂交肉用绵羊羯羊 6 只，采用尼龙袋法和改进三步体外法测定 10 种肉用绵羊常用精饲料中的干物质（DM）、有机物（OM）和粗蛋白质（CP）的瘤胃降解率以及 RUDP 体外小肠消化率，并对 RUDP 体外小肠消化率与精饲料养分含量及其瘤胃有效降解率进行相关性分析。结果表明：不同精饲料的瘤胃有效降解率不同，DM、OM 和 CP 有效降解率受精饲料中 DM、OM、CP、中性洗涤纤维（NDF）含量的影响，DM、OM 和 CP 有效降解率之间均呈极显著正相关（P<0.01）；高粱、玉米、大麦、小麦、燕麦、菜籽粕、花生粕、棉籽粕、豆粕、玉米干酒糟及其可溶物（cDDGS）的 RUDP 体外小肠消化率分别是 84.69%、86.23%、84.23%、84.10%、80.10%、89.25%、92.86%、92.31%、89.26%、87.31%，均在 80%以上，且均高于瘤胃降解率。精饲料养分含量与 RUDP 体外小肠消化率（Y）的回归方程如下：Y=2.75＋0.35CP＋0.42NDF＋0.62OM＋0.36ADF－2.93DM [决定系数（R^2）=0.896]；RUDP 体外小肠消化率(Y)与 DM 有效降解率(X_1)、CP 有效降解率(X_2)及 OM 有效降解率(X_3)的回归方程如下：Y=1.08＋0.17X_1＋0.91X_2－1.57X_3（R^2=0.814）。综上所述，基于 10 种肉用绵羊常用精饲料 RUDP 体外小肠消化率与养分含量和养分瘤胃有效降解率的强相关关系，可以通过饲料原料的养分含量或者养分有效降解率有效估测 RUDP 体外小肠消化率。

收稿日期：2017-12-25

基金项目:国家重点研发计划“反刍动物甲烷排放测算模型及基于宏基因组学的减排技术”（02016YFE0109000）；国家肉用绵羊产业技术体系建设专项资金（CARS-38）

作者简介：富丽霞（1992-），女，甘肃白银人，硕士研究生，从事动物遗传育种与繁殖研究，E-mail： fulixia0202@126.com

*通信作者：成述儒，副教授，硕士生导师，E-mail： Chengsr@gsau.edu.cn

ChinaXiv合作期刊

关键词：肉用绵羊；精饲料；瘤胃降解率；瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率；可代谢蛋白质

中图分类号：S826

精饲料是反刍动物饲粮中提供蛋白质的主要饲料，准确测定反刍动物对蛋白质的利用情况可以减少饲料的浪费，节约成本。对于反刍动物，目前多采用瘤胃降解蛋白质（RDP）和瘤胃非降解蛋白质（RUDP）体系评估蛋白质的利用情况，该体系的核心是瘤胃蛋白质降解率的测定及 RUDP 体外小肠消化率的估测。蛋白质瘤胃降解率的测定多是采用尼龙袋法[1]，赵连生等[2]、陈艳[3]等通过尼龙袋法探究了单一饲料在肉牛或奶牛上的瘤胃降解率。但 RUDP 体外小肠消化率的测定方法不一，有瘘管法、移动尼龙袋法和体外法等，瘘管法和移动尼龙袋需要给动物安装瘘管，成本高，试验羊的体况对试验结果的影响较大，术后羊成活率低，羊的消化道比较窄，移动尼龙袋法容易造成肠道的堵塞。Gargallo 等[4]提出的三步体外法克服了这些缺点，王燕等[5]采用移动尼龙袋法、改进三步体外法、原始三步体外法和酸性洗涤不溶氮法 4 种不同的研究方法测定了 13 种饲料的 RUDP 体外小肠消化率，得出改进三步体外法与移动尼龙袋法有较好的相关性[决定系数（R^2）=0.838 3]；朱亚骏等[6]用三步体外法测定了山东省羊主要精饲料的 RUDP 体外小肠消化率。肉用绵羊常用精饲料的瘤胃降解率及 RUDP 体外小肠消化率是估测小肠可代谢蛋白质（MP）的依据，目前鲜见报道。本研究采用尼龙袋法和改进三步体外法探究 10 种肉用绵羊常用精饲料 RUDP 体外小肠消化率与养分含量及其瘤胃有效降解率的相关关系，为建立我国肉用绵羊 MP 的估测体系提供参考。

1 材料与方法

1.1 待测样品的采集与制备

试验样品为 10 种肉用绵羊常用的精饲料：高粱、玉米、大麦、小麦、燕麦、菜籽粕、豆粕、棉籽粕、花生粕和玉米干酒糟及其可溶物（cDDGS），饼粕类饲料的加工方法均采用浸提法，玉米等谷物类饲料采用粉碎机直接粉碎至粒度约 5.0 mm，cDDGS 由于本身颗粒小，购买后直接使用。10 种精饲料经 2.5 mm 筛孔的粉碎机粉碎备用。

1.2 试验动物及饲养管理

试验选用 14 月龄体况健康，平均体重为（49.27±3.12） kg 的安装有永久性瘤胃瘘管的杜泊羊（♂）与小尾寒羊（♀）杂交 1 代肉用绵羊羯羊 6 只。每天饲喂 2 次，分别于 06:00、

chinaXiv:201812.00333v1

18:00 饲喂，每次饲喂 600 g，自由饮水。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
羊草 Chinese wildrye	55.00
玉米 Corn	29.40
豆粕 Soybean meal	14.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.86
食盐 NaCl	0.50
预混料 Premix[1)]	0.24
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
干物质 DM	95.55
有机物 OM	93.68
粗蛋白质 CP	11.90
中性洗涤纤维 NDF	59.12
酸性洗涤纤维 ADF	25.22

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provides the following per kg of the diet:VA 15 000 IU，VD 5 000 IU，VE 50 mg，Fe 90 mg，Cu 12.5 mg，Mn 60 mg，Zn 90 mg，Se 0.3 mg，I 1.0 mg，Co 0.3 mg。

[2)]营养水平均为实测值。Nutrient levels are measured values.

1.3 尼龙袋的制备

选用孔径大小为 50 μm 的尼龙布，细涤纶线双线缝合制成 10 cm×6 cm 的尼龙袋。袋底两角呈钝圆形，以免样本残留，酒精灯烤焦散边，以防止尼龙布脱丝。用油性记录笔标号，放入瘤胃内 72 h，取出、洗净、烘干后方可使用。准备长度为 25 cm 半软塑料管，在塑料管的一端距顶端 1~2 cm 处，划出长度为 3 cm 左右的夹缝，用于固定尼龙袋，另一端距顶端 1~2 cm 处打 1 个直径为 0.3 cm 的孔，用于系尼龙线。

1.4 试验设计

1.4.1 干物质（DM）、有机物（OM）和粗蛋白质（CP）的瘤胃降解率

每个样品设 3 个重复，每个重复 1 只羊。样品设 6、12、24、36、48 h 5 个时间点，每个时间点 2 个平行。准确称取试验样品 6 g，放入已恒重的尼龙袋中，2 个平行的尼龙袋绑在一个塑料管上。饲喂后 2 h 投放至瘤胃，不同时间点分别投放，最后统一取出。从瘤胃中

chinaXiv:201812.00333v1

chinaXiv:201812.00333v1

取出尼龙袋后立即连同软塑料管一起浸泡在冷水中。手洗，多次换水，直至滤出水澄清为止。在冲洗过程中严禁用手捏或用手揉搓尼龙袋（0 h 时间点的也需要一起冲洗）。将冲洗过的尼龙袋（连同其中的残余物）置于真空干燥箱或鼓风干燥箱内 65 ℃下恒温烘 48 h，回潮 24 h 后称重。将 2 个平行的尼龙袋残渣倒入同一个自封袋中，测定分析其中的 DM、OM、CP 含量。

1.4.2 RUDP 体外小肠消化率的测定

根据 Hvelplund[7]的方法称取 5 g 试验样品于尼龙袋中，置于瘤胃中培养 16 h 后取出，清洗至水清，在 55 ℃烘箱内烘干 48 h，制成风干样后过 40 目筛。参照 Gargallo 等[4]的方法，称取 0.5 g 经瘤胃消化后的饲料残渣，放入 Ankom F57 滤袋中，用封口机封口。将来自同一只羊的 30 个滤袋放入同一个培养瓶中，每个培养瓶加入预培养的盐酸胃蛋白酶溶液 2 L［每升溶液中含有 1 g 胃蛋白酶（P-7000，美国 Sigma），用 0.1 N HCl 调节至 pH 1.9］，将培养瓶至于培养箱(Daisy Ⅱ，美国 Ankom)39 ℃振荡培养 1 h。培养后，用自来水冲洗尼龙袋至水澄清。再次将滤袋放入含有预热的胰酶制剂溶液［每升溶液中含 50 mg 百里香酚，3 g 胰酶制剂（P-7545，美国 Sigma），用磷酸二氢钾溶液调节至 pH 7.75］的培养瓶中于 39 ℃振荡培养 24 h，培养后用自来水冲洗尼龙袋至水澄清，55 ℃烘干至恒重，称重，分析袋内残渣养分含量。1.5 测定指标与方法

DM、OM、CP 含量参照张丽英[8]的方法测定；测定中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量时，先用胰蛋白酶及淀粉酶对样品进行酶解，再按照范氏(Van Soest)洗涤纤维分析法进行操作。

1.6 计算方法

1.6.1 瘤胃降解率

精饲料样品在不同时间点的瘤胃降解率计算公式如下：

$$A=100\times(B-C)/B。$$

式中：A 为待测精饲料养分的瘤胃降解率（%）；B 为待测精饲料中养分的质量（g）；C 为残渣中养分的质量（g）。

1.6.2 瘤胃有效降解率

参照Ørekov 等[9]提出的数学模型，利用最小二乘法算出模型中的参数 a、b 和 c，模

chinaXiv:201812.00333v1

型如下：

$$dP=a+b(1\text{-}e^{-ct});$$

式中：*dP* 为某养分在 *t* 时间的瘤胃降解率（%）；*a* 为快速降解部分含量（%）；*b* 为慢速降解部分含量（%）；*c* 为慢速降解部分的降解速率（%/h）；*t* 为精饲料在瘤胃内停留时间（h）。采用 SAS 9.1 NLIN 程序计算 *a*、*b*、*c* 值。

$$D=a+bc/(c+k)。$$

式中：*D* 为某养分的有效降解率（%）；*k* 为待测精饲料的流通速率（%/h），参考冯仰廉等[10]取 0.08%/h。

1.6.3　RUDP 体外小肠消化率

RUDP 体外小肠消化率计算公式如下：

RUDP 含量（%）=精饲料 CP 含量（%）×[1－瘤胃 CP 降解率（%）]；

RUDP 体外小肠消化率（%）=100×[RUDP 含量（%）－残渣中 CP 含量（%）]/RUDP 含量（%）。

1.7　数据统计分析

数据采用 ANOVA 过程进行统计分析，*P*<0.05 为差异显著。结果均以平均值和标准误（SEM）表示。

2　结　果

2.1　10 种精饲料的养分含量

由表 2 可知，DM 含量在 89.59%~92.28%，差别不大；OM 含量差别较大，玉米的 OM 含量最高，为 98.79%，豆粕的 OM 含量最低 92.50%。花生粕的 CP 含量最高，其次依次为豆粕、棉籽粕、菜籽粕、cDDGS、燕麦、小麦、高粱、大麦，玉米 CP 含量最低，仅有 8.88%；各精饲料的 NDF 和 ADF 含量差别较大，cDDGS 的 NDF 含量最高，为 23.97%，燕麦的 NDF 含量最低，为 10.25%，棉籽粕的 ADF 含量最高，为 14.60%，高粱的 ADF 含量最低，为 3.01%；

表 2　10 种精饲料的养分含量（干物质基础）

Table 2　Nutrient contents of ten kinds of concentrates （DM basis）　%

项目 Items	高粱 Sorghum	玉米 Corn	大麦 Barley	小麦 Wheat	燕麦 Oat	菜籽粕 Rapeseed meal	花生粕 Peanut meal	棉籽粕 Cottonseed meal	豆粕 Soybean meal	玉米干酒糟及其可溶物 cDDGS
干物质 DM	89.59	89.94	90.60	89.64	90.31	91.60	91.97	92.28	91.74	91.65

有机物 OM	98.27	98.79	95.75	98.33	98.22	93.04	94.39	92.66	92.50	95.19
粗蛋白质 CP	10.48	8.88	10.35	13.57	15.15	40.50	61.36	44.99	47.92	30.45
中性洗涤纤维 NDF	14.97	16.98	18.58	14.87	10.25	17.45	12.24	20.17	12.93	23.97
酸性洗涤纤维 ADF	3.01	4.06	8.69	4.66	3.30	13.19	6.65	14.60	7.05	8.66

2.1 10 种精饲料的瘤胃降解特性

由表 3 可知，随着在瘤胃内停留时间的增加，DM 降解率逐渐增大，相同的时间点，不同精饲料的 DM 降解率不同。瘤胃降解速率在 6~24 h 比 24~48 h 增加缓慢，其中燕麦的 DM 降解率在任一时间点都比其他 9 种精饲料高，差异显著（P<0.05）。燕麦的 DM 有效降解率高达 57.38%，其次依次为豆粕、cDDGS、花生粕、棉籽粕、小麦、高粱、大麦、菜籽粕，玉米瘤胃降解率最低,为 41.52%。

表 3 10 种精饲料的 DM 瘤胃降解率和降解参数

Table 3 DM ruminal degradability and degradation parameters of ten kinds of concentrates %

项目 Items	高粱 Sorghum	玉米 Corn	大麦 Barley	小麦 Wheat	燕麦 Oat	菜籽粕 Rapeseed meal	花生粕 Peanut meal	棉籽粕 Cottonseed meal	豆粕 Soybean meal	玉米干酒糟及其可溶物 cDDGS	SEM	P 值 P-value
干物质瘤胃降解率 Ruminal degradability of DM												
6 h	17.48^{cd}	26.23^{c}	22.63^{cd}	40.61^{b}	47.37^{a}	20.46^{cd}	18.16^{cd}	16.08^{d}	23.48^{cd}	23.64^{cd}	1.847	<0.01
12 h	23.65^{d}	31.38^{c}	31.48^{c}	50.90^{b}	63.40^{a}	32.01^{c}	22.41^{d}	20.79^{d}	32.79^{c}	26.94^{cd}	2.447	<0.01
24 h	35.33^{bc}	35.13^{bc}	39.30^{bc}	59.01^{a}	69.69^{a}	37.98^{bc}	34.27^{bc}	31.97^{c}	41.95^{b}	31.54^{c}	2.636	<0.01
36 h	42.83^{de}	38.46^{e}	59.63^{bc}	68.70^{b}	77.83^{a}	43.27^{de}	41.66^{de}	38.25^{e}	51.84^{cd}	38.31^{e}	2.636	<0.01
48 h	56.45^{cde}	50.65^{de}	69.55^{bc}	79.47^{ab}	82.42^{a}	56.34^{cde}	51.11^{de}	49.62^{e}	62.43^{cd}	49.10^{e}	2.597	<0.01
干物质瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameters of DM												
a	18.53^{e}	26.64^{bc}	19.37^{de}	26.95^{bc}	49.46^{a}	23.07^{bcd}	20.17^{cde}	19.57^{de}	25.80^{bc}	28.42^{b}	1.638	<0.01
b	59.25^{ab}	27.80^{c}	73.70^{a}	56.08^{ab}	38.09^{c}	51.64^{b}	64.69^{ab}	64.56^{ab}	62.12^{ab}	66.20^{ab}	3.114	<0.01
c/(%/h)	0.04^{b}	0.06^{a}	0.03^{bc}	0.04^{b}	0.02^{c}	0.04^{bc}	0.04^{b}	0.04^{b}	0.04^{b}	0.03^{bc}	0.002	<0.01
有效降解率 ED	46.43^{bc}	41.52^{cd}	44.79^{cd}	48.53^{bc}	57.38^{a}	44.63^{cd}	49.21^{bc}	48.76^{bc}	53.83^{ab}	52.84^{ab}	1.179	<0.01

a 为快速降解部分含量，b 为慢速降解部分含量，c 为慢速降解部分的降解速率，ED 为有效降解率。同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

a is rapidly degraded fraction, b is slowly degraded fraction, c is the degradation rate of slowly degraded fraction, and ED is effectively degradability. In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

由表 4 可知，在同一时间点，10 种精饲料 OM 降解率变化较大。在任一时间点，燕麦

chinaXiv:201812.00333v1

chinaXiv:201812.00333v1

OM 降解率显著高于其他 9 种精饲料（*P*<0.05）（48 h 与小麦相比除外）。在 24 h 时，小麦的 OM 降解率为 59.62%，仅次于燕麦的 73.71%，显著高于其他 8 种精饲料（*P*<0.05）。燕麦 OM 有效降解率显著高于其他精饲料（*P*<0.05）。谷物类饲料中燕麦 OM 有效降解率最高，饼粕类中豆粕最高。

表 4　10 种精饲料的 OM 瘤胃降解率和降解参数

Table 4　OM ruminal degradability and degradation parameters of ten kinds of concentrates　　%

项目 Items	高粱 Sorghum	玉米 Corn	大麦 Barley	小麦 Wheat	燕麦 Oat	菜籽粕 Rapeseed meal	花生粕 Peanut meal	棉籽粕 Cottonseed meal	豆粕 Soybean meal	玉米干酒糟及其可溶物 cDDGS	SEM	*P* 值 *P*-value
有机物瘤胃降解率 Ruminal degradability of OM												
6 h	23.08^{de}	28.78^{c}	25.03^{cd}	$42..68^{b}$	53.68^{a}	22.21^{de}	18.40^{e}	17.02^{e}	19.85^{de}	25.07^{cd}	2.136	<0.01
12 h	27.91^{cde}	34.57^{cd}	37.43^{c}	49.85^{b}	68.69^{a}	30.17^{cde}	27.68^{cde}	21.52^{e}	25.77^{de}	28.10^{cde}	2.633	<0.01
24 h	41.82^{c}	39.57^{c}	43.53^{c}	59.62^{b}	73.71^{a}	39.27^{c}	38.54^{c}	35.04^{c}	40.19^{c}	35.98^{c}	2.448	<0.01
36 h	44.81^{cd}	44.11^{cd}	53.74^{bc}	63.94^{b}	79.45^{a}	45.92^{cd}	44.13^{cd}	40.14^{d}	49.46^{cd}	39.95^{d}	2.412	<0.01
48 h	57.37^{cd}	51.47^{cd}	63.77^{bc}	76.74^{ab}	86.84^{a}	58.73^{cd}	55.65^{cd}	49.84^{d}	62.86^{cd}	50.31^{cd}	2.421	<0.01
有机物瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameters of OM												
a	21.74^{def}	26.07^{cd}	22.05^{def}	33.48^{b}	51.40^{a}	25.22^{cde}	20.62^{ef}	19.45^{f}	22.25^{def}	28.56^{bc}	1.726	<0.01
b	64.03^{a}	45.80^{abc}	57.35^{bc}	46.30^{bc}	30.98^{d}	64.15^{a}	53.81^{abc}	66.33^{a}	60.94^{ab}	43.35^{cd}	2.372	<0.01
c/(%/h)	0.03^{de}	0.03^{cd}	0.03^{cd}	0.03^{de}	0.01^{f}	0.02^{e}	0.05^{a}	0.04^{bc}	0.05^{ab}	0.04^{ab}	0.002	<0.01
有效降解率 ED	44.55^{b}	44.09^{b}	44.39^{b}	49.28^{b}	58.42^{a}	46.30^{b}	46.93^{b}	48.65^{b}	50.90^{b}	48.83^{b}	0.950	<0.01

由表 5 可知，在不同时间点各种精饲料 CP 瘤胃降解率不同，同 DM 和 OM 降解率类似，在任一时间点燕麦的 CP 降解率显著高于其他 9 种精饲料（*P*<0.05）（24、36、48 h 与小麦相比除外）。在 24 h 时，燕麦的 CP 降解率达到 72.64%，小麦的仅次于燕麦，为 63.25%。在 48 h 时，燕麦的降解率达到 84.19%，而高粱的仅为 38.77%。所有精饲料 CP 降解率 6~24 h 增加缓慢，24~48 h 增加较快。燕麦 CP 有效降解率显著高于其他精饲料（*P*<0.05），谷物类饲料中燕麦最高，饼粕类饲料中花生粕最高。

表 5　10 种精饲料的 CP 瘤胃降解率和降解参数

Table 5　CP ruminal degradability and degradation parameters of ten kinds of concentrates　　%

项目 Items	高粱 Sorghum	玉米 Corn	大麦 Barley	小麦 Wheat	燕麦 Oat	菜籽粕 Rapeseed	花生粕 Peanut meal	棉籽粕 Cottonseed meal	豆粕 Soybean meal	玉米干酒糟及其可溶	SEM	*P* 值 *P*-value

ChinaXiv合作期刊

						meal				物 cDDGS		
粗蛋白质瘤胃降解率 Ruminal degradability of CP												
6 h	16.64^{d}	24.25^{bcd}	22.73^{cd}	30.30^{b}	44.30^{a}	27.42^{bc}	24.33^{bcd}	29.19^{b}	16.87^{d}	15.77^{d}	1.697	<0.01
12 h	20.10^{d}	27.54^{cd}	31.66^{cd}	49.83^{b}	63.53^{a}	35.55^{c}	28.63^{cd}	31.53^{cd}	20.28^{d}	19.73^{d}	2.649	<0.01
24 h	24.82^{c}	32.77^{bc}	39.66^{b}	63.25^{a}	72.64^{a}	41.34^{b}	40.82^{b}	42.52^{b}	34.15^{bc}	22.15^{c}	2.948	<0.01
36 h	36.18^{cd}	37.66^{cd}	48.51^{bc}	70.28^{a}	80.64^{a}	47.56^{bc}	48.55^{bc}	54.55^{b}	41.45^{bcd}	35.03^{d}	3.302	<0.01
48 h	38.77^{d}	47.25^{cd}	59.36^{bc}	74.27^{a}	84.19^{a}	58.01^{bc}	59.51^{bc}	62.18^{b}	54.02^{bc}	38.88^{d}	2.668	<0.01
粗蛋白质瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameters of CP												
a	20.75^{d}	25.33^{cd}	21.23^{d}	22.63^{d}	46.97^{a}	31.21^{b}	27.38^{bc}	27.68^{bc}	22.90^{cd}	20.77^{d}	1.467	<0.01
b	57.42^{ab}	50.18^{b}	59.70^{ab}	63.05^{a}	46.19^{b}	48.39^{b}	67.43^{a}	66.83^{a}	65.14^{a}	58.90^{ab}	1.855	0.018
c/(%/h)	0.04^{bc}	0.03^{cd}	0.03^{bc}	0.04^{bc}	0.02^{d}	0.04^{bc}	0.04^{b}	0.04^{bc}	0.05^{a}	0.05^{a}	0.002	<0.01
有效降解率 ED	45.08^{e}	43.71^{e}	44.38^{e}	49.32^{de}	60.87^{a}	52.04^{bcd}	57.26^{ab}	54.62^{bcd}	56.02^{abc}	51.08^{cd}	1.143	<0.01

2.2 10 种精饲料养分瘤胃有效降解率、RUDP 体外小肠消化率与养分含量的相关性分析

由表 6 可知，饼粕类饲料的 RUDP 含量和 RUDP 体外小肠消化率普遍高于谷物类饲料，饼粕类饲料 RUDP 含量 14.90%~26.22%，谷物类饲料的 RUDP 含量在 5.00%~6.89%；10 种精饲料 RUDP 体外小肠消化率在 80.10%~92.86%。

表 6　10 种精饲料的 RUDP 含量和 RUDP 体外小肠消化率

Table 6　RUDP content and Idg of RUDP of 10 kinds of concentrations　　%

项目 Items	高粱 Sorghum	玉米 Corn	大麦 Barley	小麦 Wheat	燕麦 Oat	菜籽粕 Rapeseed meal	花生粕 Peanut meal	棉籽粕 Cottonseed meal	豆粕 Soybean meal	玉米干酒糟及其可溶物 cDDGS	SEM	*P* 值 *P*-value
瘤胃非降解蛋白质含量 RUDP content	5.76^{de}	5.00^{e}	5.76^{de}	6.89^{d}	5.93^{de}	19.42^{b}	26.22^{a}	20.42^{b}	21.07^{b}	14.90^{c}	0.014	<0.01
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率 Idg of RUDP	84.69^{d}	86.23^{cd}	84.23^{d}	84.10^{d}	80.10^{e}	89.25^{b}	92.86^{a}	92.31^{a}	89.26^{b}	87.31^{bc}	0.731	<0.01

精饲料养分有效降解率、RUDP 体外小肠消化率及养分含量之间的相关关系见表 7。其中 DM、OM 和 CP 有效降解率之间均极显著正相关（P＜0.01）；CP 有效降解率与 CP 含量显著正相关（P＜0.05），与 NDF 含量显著负相关（P＜0.05）；RUDP 体外小肠消化率与 DM、CP 含量极显著正相关（P＜0.01），与 ADF 含量显著正相关（P＜0.05），与 OM 含量显著负相关（P＜0.01）。

表 7　10 种精饲料瘤胃有效降解率、RUDP 体外小肠消化率及养分含量的相关关系

chinaXiv:201812.00333v1

Table 7 Correlation between ruminal degradability and Idg of RUDP and nutrient contents of 10 kinds of concentrates

项目 Items	干物质有效降解率 ED of DM	有机物有效降解率 ED of OM	粗蛋白质有效降解率 ED of CP	瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率 Idg of RUDP	干物质 DM	有机物 OM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF
干物质有效降解率 ED of DM	1.000	0.799**	0.881**	-0.179	0.255	-0.166	0.260	-0.313	-0.152
有机物有效降解率 ED of OM	0.881**	0.802**	1.000	-0.359	-0.065	-0.038	0.070	-0.451	-0.195
粗蛋白质有效降解率 ED of CP	0.799**	1.000	0.802**	0.206	0.546	-0.453	0.624*	-0.437*	-0.163
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率 Idg of RUDP	-0.179	0.206	-0.359	1.000	0.807**	-0.788*	0.864**	0.249	0.641*

*表示显著相关（P<0.05），**表示极显著相关（P<0.01）。

* mean significant correlation （P<0.05）, and ** mean extremely significant correlation （P<0.01）.

精饲料养分含量、养分瘤胃有效降解率与 RUDP 体外小肠消化率的关系方程见表 8。精饲料 CP 有效降解率和 RUDP 体外小肠消化率均受精饲料 CP 和 NDF 含量的影响，当引入 OM、ADF 及 DM 含量时，RUDP 体外小肠消化率回归方程的 R^2 达 0.896。以 DM、OM 及 CP 有效降解率建立的 RUDP 体外小肠消化率回归方程 R^2 为 0.814。

表 8 10 种精饲料粗蛋白质降解率与 RUDP 体外小肠消化率的关系方程

Table 8 Correlation of ruminal degradability and Idg of RUDP of 10 kinds of concentrates

项目 Items	回归方程 Regression equation	决定系数 R^2	P 值 P-value
粗蛋白质有效降解率(Y)与粗蛋白质含量（X） ED of CP (Y) with CP content （X）	Y=0.46+0.19X	0.395	0.051
粗蛋白质有效降解率(Y)与粗蛋白质含量(X_1)、中性洗涤纤维含量(X_2) ED of CP (Y) with CP content (X_1) and NDF content (X_2)	Y=0.55+0.18X_1−0.58X_2	0.606	0.047
粗蛋白质有效降解率(Y)与干物质有效降解率(X_1)、有机物有效降解率(X_2) ED of CP (Y) with ED of DM (X_1) and ED of OM (X_2)	Y=0.05+0.47X_1+0.69X_2	0.674	0.020
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率(Y)与粗蛋白质含量(X) Idg of RUDP (Y) with CP content （X）	Y=0.82+0.18X	0.747	0.001
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率(Y)与粗蛋白质含量(X_1)、中性洗涤纤维含量（X_2） Idg of RUDP (Y) with CP content (X_1) and NDF content (X_2)	Y=0.77+0.18X_1+0.28X_2	0.854	0.002
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率(Y)与粗蛋白质含量(X_1)、中性洗涤纤维含量（X_2）、有机物含量（X_3） Idg of RUDP with CP content (X_1), NDF content (X_2) and OM content (X_3)	Y=0.28+0.24X_1+0.36X_2+0.48X_3	0.861	0.007
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率(Y)与粗蛋白质含量(X_1)、中性洗涤纤维含量（X_2）、有机物含量（X_3）、酸性洗涤纤维含量(X_4)、干物	Y=2.75+0.35X_1+0.42X_2+0.62X_3+0.36X_4−2.93X_5	0.896	0.042

chinaXiv:201812.00333v1

质含量(X_5) Idg of RUDP (Y) with CP content (X_1), NDF content (X_2), OM content (X_3), ADF content (X_4) and DM content (X_5)			
瘤胃非降解蛋白质体外小肠消化率(Y)与干物质瘤胃降解率(X_1)、粗蛋白质瘤胃降解率(X_2)、有机物瘤胃降解率(X_3) Idg of RUDP (Y) with ED of CP (X_1), ED of DM (X_2) and ED of OM (X_3)	Y=1.08+0.17X_1+0.91X_2−1.57X_3	0.814	0.013

3 讨　论

3.1　10 种精饲料的瘤胃降解特性

饲料在瘤胃中的降解实质上是瘤胃微生物生理活动对饲料养分产生一系列的作用过程，随着饲料在瘤胃中停留时间的增加，饲料养分的瘤胃降解率增大，不同饲料瘤胃降解率不同。饲料样品的粒度越小，养分瘤胃降解率越高[11]。饲粮的精粗比影响微生物区系，进而影响饲料在瘤胃的降解。有研究报道，测定瘤胃降解率时饲粮精粗比为 4:6，采食量也应该满足维持需要，但在选择饲粮要视被测饲料及生产条件而定[12-13]。本研究得出，饼粕类饲料的 CP 有效降解率为花生粕>豆粕>棉籽粕>菜籽粕>cDDGS，菜籽粕含有硫葡萄糖苷、芥酸、噁唑烷硫酮等，棉籽粕含有游离棉酚，抑制了瘤胃微生物的分解作用[14-15]，因此瘤胃降解率较其他饼粕类饲料低，赵洪涛[16]、刁其玉等[15]得出类似的结果。本研究得出，谷物类饲料 CP 有效降解率为燕麦>小麦>高粱>大麦>玉米，DM 有效降解率表现出相同的趋势，饲料进入瘤胃时的物理结构对养分的有效降解率有很大的影响，谷物类饲料高度结构化的表皮形成了一层有效屏障，阻碍了微生物对其中养分的降解，这层表皮的主要组成物是高度结构化的纤维素和半纤维素，玉米本身含有的蜡质角质更加阻碍了微生物的入侵。谷物类饲料的营养贮藏物是外表面包有一层蛋白质基质的淀粉粒，蛋白质基质同淀粉粒的结合程度对微生物与淀粉的接触速度影响很大，玉米的蛋白质基质包被非常严密，因此养分瘤胃降解率较低，而燕麦的蛋白质基质很容易被细菌穿透，所以在相同的瘤胃培养时间，燕麦的瘤胃降解率很高，小麦、大麦和高粱的蛋白质基质层被细菌穿透力度处于玉米和燕麦之间，所以降解率也介于两者之间，但因不同饲料的细胞壁厚度和化学结构不同，所以降解率也有差异，刁其玉[17]、李瑞丽等[18]得出类似的结果。有研究报道，饲料本身的物理和化学特性，如 CP 组成，非蛋白氮、真蛋白氮的含量，抗营养因子等也对瘤胃降解产生直接影响[19-21]。本研究得出，瘤胃 DM、OM 及 CP 有效降解率分别与各自的快速降解部分含量呈正相关关系，刘海霞等[22]、González 等[23]得出的结果类似。

3.2　10 种精饲料的 RUDP 体外小肠消化率

chinaXiv:201812.00333v1

本研究采用改进三步体外法得出 10 种肉用绵羊常用精饲料 RUDP 体外小肠消化率的平均值是 87.03%，处于 NRC（2001）推荐值（80%）[24]与 AFRC（1993）推荐值（90%）[25]之间，各种精饲料的 RUDP 体外小肠消化率范围是 80.10%~92.86%，在 INRA[26]报道的 65%~95%范围内。饼粕类饲料的 RUDP 体外小肠消化率高于谷物类饲料，这与周荣等[27]的研究结果一致，岳群等[28]研究报道高蛋白质饲料在小肠中的消化作用强于低蛋白质饲料。Hvelplund[7]采用三步体外法测定了 6 种饲料瘤胃残渣的消化率，结果发现不同饲料的 RUDP 体外小肠消化率差别很大，因此测定单一饲料的 RUDP 体外小肠消化率是非常有必要的。岳群等[28]分别采用移动尼龙袋法和三步体外法测定了反刍家畜常用的 15 种饲料的 RUDP 体外小肠消化率，结果显示 2 种方法得出的结果存在较强的正相关关系（R^2=0.891 2）。本研究得出，饼粕类饲料与谷物类饲料的 RUDP 体外小肠消化率分别是 90.20%、83.87%，周荣等[27]采用移动尼龙袋法测的饼粕类饲料与谷物类饲料的 RUDP 体外小肠消化率分别是 81.93%、73.47%，反刍动物胃肠道对尼龙袋有一定的排斥作用，尼龙袋在胃肠道滞留时间较少，RUDP 体外小肠消化率相对较低，此外该方法连着大肠的消化率也考虑在内，并且会受到食糜等其他因素的影响。朱亚骏等[6]采用改进三步体外法测得玉米、小麦、菜籽粕、棉籽粕、豆粕、花生粕的 RUDP 体外小肠消化率分别是 80.54%、83.66%、86.44%、86.77%、95.12%和 93.04%，王燕等[5]报道豆粕、棉籽粕、菜籽粕、玉米、大麦的 RUDP 体外小肠消化率分别是 96.33%、87.13%、87.70%、89.27%和 89.57%，本研究测的玉米、大麦、小麦、菜籽粕、花生粕、棉籽粕、豆粕的 RUDP 体外小肠消化率分别是 86.23%、84.23%、84.10%、89.25%、92.86%、92.31%和 89.26%，研究结果接近。相较于其他饲料，燕麦的瘤胃降解率较高，RUDP 体外小肠消化率较低，对于反刍动物而言，饲粮在瘤胃中的高降解是一种低效的表现，瘤胃降解率过高致使小肠吸收的蛋白质较少，影响反刍动物的营养需求。本研究结果表明，精饲料 RUDP 体外小肠消化率普遍高于 CP 瘤胃降解率，朱亚骏等[6]报道了类似的结果，有研究报道大量不被瘤胃降解的蛋白质能在小肠被很好的消化，不同的饲料被降解的程度不同[28-29]。

本研究得出饼粕类饲料的 RUDP 含量高于谷物类饲料，其中花生粕的 RUDP 含量高达 26.22%，菜籽粕、棉籽粕、豆粕的 RUDP 含量分别是 19.42%、20.42%、21.07%，与赵天章等[30]报道的结果接近，可见饲料的种类，尤其是饲料中蛋白质含量对 RUDP 含量影响很大。

chinaXiv:201812.00333v1

3.3 精饲料瘤胃有效降解率和 RUDP 体外小肠消化率相关关系

本研究得出精饲料中 CP、NDF 含量可以较好地预测 CP 瘤胃降解率和 RUDP 体外小肠消化率，当引入 OM、ADF 及 DM 指标时，RUDP 体外小肠消化率相关关系的 R^2 越高。反刍动物对饲料蛋白质的消化利用分为 RDP 和 RUDP，在饲粮采食量相同的情况下，饲粮中 CP 含量越高，瘤胃微生物可利用的氮源越丰富，利于微生物的生长，使得 MCP 合成增加，进而 CP 瘤胃降解率升高；进入小肠的 CP 主要是 MCP 和 RUDP，当饲粮 CP 水平越高，小肠可消化利用的 CP 越多，因此 RUDP 体外小肠消化率也越高，袁翠林等[31]、Woods 等[32]、王燕等[5]研究得出类似的结果。英国第一产业常设委员会（CSRIO，2007）推荐采用饲料中 CP 和 RUDP 含量来预测 RUDP 体外小肠消化率[33]，而 RUDP 含量与饲料 CP 含量存在一定的相关关系，即可利用 CP 含量预测 RUDP 体外小肠消化率。饲料在瘤胃中的降解合成，主要是瘤胃微生物的作用，饲料中 NDF 含量高时，抑制了瘤胃微生物的合成，所以 CP 瘤胃降解率降低。小肠对饲料的吸收利用主要是肠道中酶制剂的消化，NDF 可以促进食糜的蠕动[34]，故适宜的饲料 NDF 含量可以提高 RUDP 体外小肠消化率。袁翠林等[31]研究得到粗饲料的 RUDP 体外小肠消化率与 NDF 含量呈负相关关系，出现该现象的原因可能是粗饲料中 NDF 含量很高，对小肠酶制剂的抑制作用强于肠道食糜的蠕动作用。因此，当试验条件或者外界环境不允许的条件下，可通过测定饲料中概略养分含量快速预测 CP 瘤胃降解率和 RUDP 体外小肠消化率。

本研究还得出，RUDP 体外小肠消化率与 DM、CP 及 OM 有效降解率存在强相关性（R^2=0.814）。精饲料粗灰分含量较少，OM 瘤胃降解率与 DM 瘤胃降解率类似，DM 瘤胃降解率决定着干物质采食量（DMI），当 DM 瘤胃降解率升高时，DMI 增加，进而 CP 瘤胃降解率升高，汪水平等[35]、González 等[23]研究得出类似的结果。当精饲料中 DM 或 OM 瘤胃降解率增大时，进入小肠的 DM 或 OM 减少，降低了 RUDP 体外小肠消化率；随 CP 瘤胃降解率升高，MCP 合成量增加，并且 MCP 占小肠吸收利用蛋白质的很大一部分，所以 RUDP 体外小肠消化率升高。因此可以利用精饲料养分瘤胃降解率预测 RUDP 体外小肠消化率，前人对精饲料养分降解率与 RUDP 体外小肠消化率结合分析的研究甚少，所以无法做深入的相关成果的对比分析。

4 结　论

chinaXiv:201812.00333v1

① 单一精饲料瘤胃降解特性不同，差异较大，燕麦的养分瘤胃有效降解率高于其他精饲料。

② 精饲料养分含量与 RUDP 体外小肠消化率（Y）的回归方程如下：Y=2.75＋0.35CP＋0.42NDF＋0.62OM＋0.36ADF－2.93DM [决定系数（R^2）=0.896]。

③ RUDP 体外小肠消化率(Y)与 DM 有效降解率(X_1)、CP 有效降解率(X_2)及 OM 有效降解率(X_3)的回归方程如下：Y=1.08＋0.17X_1＋0.91X_2－1.57X_3（R^2=0.814）。

参考文献：

[1] VAN DER POEL A F B,PRESTLØKKEN E,GOELEMA J O.Feed processing:effects on nutrient degradation and digestibility[C]//DIJKSTRA J,FORBES J M,FRANCE J.Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism.2nd ed.New York:CABI Publishing,2005:627–661.

[2] 赵连生,牛俊丽,徐元君,等.6 种饲料原料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J].动物营养学报,2017,29(6):2038–2046.

[3] 陈艳.肉牛常用饲料营养价值评定[D].硕士学位论文.雅安：四川农业大学,2014.

[4] GARGALLO S,CALSAMIGLIA S,FERRET A.Technical note:a modified three-step in vitro procedure to determine intestinal digestion of proteins[J].Journal of Animal Science,2006,84(8):2163–2167.

[5] 王燕,辛杭书,杨方,等.不同方法测定瘤胃非降解蛋白质小肠消化率及相关性分析[J].动物营养学报,2012,24(7):1264–1273.

[6] 朱亚骏,于子洋,袁翠林,等.山东省羊主要精饲料瘤胃降解率和小肠消化率的研究[J].中国农学通报,2014,30(17):1–6.

[7] HVELPLUND T.Amino acid content of feed and microbial protein and their intestinal digestibility[M]//JARRIGE R,ALDERMAN G.Feed evaluation and protein requirement systems for ruminants.Brussels:European Communities,1987:159–169.

[8] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[9] ØREKOV E R,MCDONALD I.The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage[J].The Journal of Agricultural Science,1979,92(2):499–503.

[10] 冯仰廉,莫放.反刍动物蛋白质营养新体系[M]//动物营养研究进展.北京:中国农业科技

chinaXiv:201812.00333v1

chinaXiv:201812.00333v1

出版社,1994.

[11] 生广旭,李杰.粉碎粒度对豆粕在绵羊瘤胃内降解和消化的影响[J].动物营养学报,2009,21(4):598–602.

[12] 魏全意,莫放,李胜利,等.日粮中精料比例对稻谷和甘薯淀粉的瘤胃降解率影响[J].饲料研究,1999(5):1–2.

[13] 张俊瑜,王加启,王晶,等.裹包全混合日粮瘤胃降解特性的研究[J].草业科学,2010,27(3):136–143.

[14] 张力莉,徐晓锋.体外产气法研究棉酚对瘤胃发酵与微生物蛋白产量的影响[J].中国饲料,2014(21):20–22.

[15] 刁其玉,屠焰.奶牛常用饲料蛋白质在瘤胃的降解参数[J].乳业科学与技术,2005,27(2):70–74.

[16] 赵洪涛.蛋白饲料瘤胃降解特性及微量元素和维生素对绵羊增重影响的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2004.

[17] 刁其玉.饲料营养成分在瘤胃和小肠降解规律的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2000.

[18] 李瑞丽,刘建新.不同淀粉源饲料的瘤胃降解特性研究初探[J].饲料工业,2006,27(15):22–24.

[19] 张力莉,徐晓锋,金曙光.豆粕蛋白质和玉米蛋白粉蛋白质在绵羊瘤胃内降解规律的比较研究[J].黑龙江畜牧兽医,2010(7):97–98.

[20] GAO W,CHEN A D,ZHANG B W,et al.Rumen degradability and post-ruminal digestion of dry matter,nitrogen and amino acids of three protein supplements[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(4):485–493.

[21] OH Y K,PARK Y J,BAEK Y C,et al.*In situ* ruminal degradation and intestinal digestion of crude protein and amino acids of three major proteinaceous feeds for Hanwoo steers[J].Research Opinions in Animal & Veterinary Sciences,2015,5(10):395–400.

[22] 刘海霞,刘大森,隋美霞,等.羊常用粗饲料干物质和粗蛋白的瘤胃降解特性研究[J].中国畜牧杂志,2010,46(21):37–42.

[23] GONZÁLEZ J,ANDRÉS S,RORDÍGUEZ C A,et al.*In situ* evaluation of the protein value of soybean meal and processed full fat soybeans for ruminants[J].Animal Research,2002,51(6):455–464.

[24] NRC.Nutrient requirements of dairy cattle[S].7th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,2001.

[25] ALDERMAN G,COTTRILL B R.Energy and protein requirements of ruminants.An advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients[M].Wallingford:CAB International,1993.

[26] JARRIGE R.Ruminant nutrition:recommended allowances and feed tables[M].[S.l.]:[s.n.],1989.

[27] 周荣,王加启,张养东,等.移动尼龙袋法对常用饲料蛋白质小肠消化率的研究[J].东北农业大学学报,2010,41(1):81–85.

[28] 岳群,杨红建,谢春元,等.应用移动尼龙袋法和三步法评定反刍家畜常用饲料的蛋白质小肠消化率[J].中国农业大学学报,2007,12(6):62–66.

[29] ERASMUS L J,BOTHA P M,CRUYWAGEN C W,et al.Amino acid profile and intestinal digestibility in dairy cows of rumen-undegradable protein from various feedstuffs[J].Journal of Dairy Science,1994,77(2):541–551.

[30] 赵天章,李慧英,闫素梅.奶牛主要植物性蛋白质饲料蛋白质和纤维物质瘤胃降解率的研究[J].中国饲料,2010,32(9/10):161–164.

[31] 袁翠林,王利华,于子洋,等.山东省羊常用粗饲料的粗蛋白瘤胃降解率和小肠消化率研究[J].中国畜牧杂志,2015,51(9):37–41.

[32] WOODS V B,MOLONEY A P,CALSAMIGLIA S,et al.The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals:part Ⅲ.Small intestinal digestibility as measured by in vitro or mobile bag techniques[J].Animal Feed Science and Technology,2003,110(1/2/3/4):145–157.

[33] Primary Industries Standing Committee.Nutrient requirements of domesticated ruminants[S].London:CSIRO Publishing,2007.

[34] 祁茹,林英庭.日粮物理有效中性洗涤纤维对奶牛营养调控的研究进展[J].粮食与饲料工

chinaXiv:201812.00333v1

chinaXiv:201812.00333v1

业,2010(5):52–55.

[35] 汪水平,王文娟,左福元,等.常用饲料原料干物质及蛋白质在大足黑山羊瘤胃内降解规律的研究[J].中国畜牧杂志,2010,46(21):47–52.

Correlation Analysis of Ruminal Degradation Characteristics and *in Vitro* Small Intestinal Digestibility of Rumen Undegraded Protein of Common Concentrates for Mutton Sheep

FU Lixia[1,2] MA Tao[2] DIAO Qiyu[2] CHENG Shuru[1*] SUN Zhuolin[2] LI Chuang[2]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Gansu Agriculture University*, *Lanzhou* 730070, *China*; 2. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*）

Abstract: The correlation of ruminal degradation characteristics and *in vitro* small intestinal digestibility of rumen undegraded protein of 10 kinds of common concentrates for mutton sheep was analyzed in this study with an aim of providing references for estimating the metabolizable protein (MP) in mutton sheep. Six 14-month-old Dorper×thin-tailed *Han* crossbred wethers with an average body weight of (49.27±3.12) kg fitted with permanent ruminal fistulas were used. Ruminal degradation rates of dry matter (DM), organic matter (OM) and crude protein (CP) and *in vitro* small intestinal digestibility of rumen undegraded protein (RUDP) of 10 kinds of concentrates were determined using nylon bag technique and the improved three-step *in vitro* procedure, and the correlations of *in vitro* small intestinal digestibility of RUDP, nutrient contents and ruminal effective degradability of concentrates were analyzed. The results showed as follows: ruminal effective degradability differed among concentrates. The effective degradability of DM, OM, and CP were affected by the contents of DM, OM, CP and neutral detergent fiber（NDF） in concentrate. There was significant positive correlations among DM, OM, and CP effective degradability (P<0.01). The *in vitro* small intestinal digestibility of RUDP of sorghum, corn, barley, wheat, oat, rapeseed meal, peanut meal, cottonseed meal, soybean meal, corn distiller’s dried grains with solubles （cDDGS） was 84.69%, 86.23%, 84.23%, 84.10%, 80.10%, 89.25%, 92.86%, 92.31%, 89.26% and 87.31%, respectively， all of them were above 80% and higher than

*Corresponding author, associate professor, E-mail：Chengsr@gsau.edu.cn （责任编辑　王智航）

ChinaXiv合作期刊

ruminal degradability. The correlation between nutrient contents of concentrates and RUDP small intestinal digestibility (Y) was as follows: Y=2.75＋0.35CP＋0.42NDF＋0.62OM＋0.36ADF－2.93DM （R^2=0.896）. The correlation between RUDP small intestinal digestibility (Y) and DM effective degradability (X_1), CP effective degradability (X_2) and OM effective degradability (X_3) was as follows: Y=1.08+0.17X_1+0.91X_2-1.57X_3 (R^2=0.814). In conclusion, based on that nutrient contents and ruminal nutrient effective degradability of 10 kinds of concentrates strongly correlated with *in vitro* small intestinal digestibility of RUDP, it is feasible to use nutrient contents or ruminal nutrient effective degradability to estimate *in vitro* small intestinal digestibility of RUDP.

Key words: mutton sheep; concentrate; ruminal degradability; *in vitro* small intestinal digestibility of rumen undegraded protein; metabolizable protein

chinaXiv:201812.00333v1